

文章编号:1006-2106(2014)04-0113-04

地铁区间盾构隧道漂移及其处理措施^{*}

谢 俊^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:某地铁区间盾构隧道在贯通交付铺轨后,经过对隧道位移多次监测数据的分析得知,隧道结构在水平向及竖直向两个方向上均不同程度的发生位移,沿隧道纵向位移最大值达到 19.1 cm,超过规范限值,一定程度上影响隧道的使用功能,通过本研究分析得出漂移原因,同时提出针对性的处理措施。

研究结论:(1)经过现场钻孔探查及地质雷达检测发现管片结构与围岩间盾尾间隙注浆不密实,出现不同程度的空洞,地层中地下水渗入,使得区间隧道结构悬浮于填充在盾尾间隙间的过水通道中;(2)隧道在施工荷载或其它随机作用的影响下,纵向刚度不足以抵抗上述作用,隧道结构出现漂移;(3)通过二次压注水泥-水玻璃双液浆,隧道结构盾尾间隙得以重新填充,隧道结构趋于稳定;(4)对应处理措施可应用于类似地铁盾构隧道工程。

关键词:盾构隧道;地铁;漂移;双液浆

中图分类号:U455 文献标识码:A

Countermeasures for Excursion of the Subway Shield Running Tunnel

XIE Jun

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: The displacement of the subway shield running tunnel both on the horizontal and vertical direction is obtained by analyse of the monitoring data after the tunnel transferred to the track laying contractor, the displacement achieved to 19.1cm, which exceed the code limit and affect the function of the running tunnel. Through the study the reason of the excursion of the tunnel is analyzed and the measures is proposed.

Research conclusions: The space between the segment and the surrounding rock is empty after in suit drilling ascertainment and the GRR detect, so the groundwater permeates into the space, then the running tunnel is submerged in the groundwater. Under the influence of the construction load and other stochastic effect, the stiffness of the tunnel on the longitudinal direction is deficient and then the excursion happens. The running tunnel became steady after the space is filled by the secondary double-grout. The measures can be used in the similar tunnel engineering.

Key words: shield tunnel; subway; excursion; double-grout

1 研究背景

随着城市化进程的加快,地下设施的建设日新月异,隧道做为一种地下结构大量得以兴建。隧道建设

中,盾构法占据着十分重要的地位,被世界各国广泛地用于地铁、越江、铁路、水电、市政等隧道工程的建设中^[1-2]。随着我国大力发展公共交通战略的实施,各大城市兴起了一股轨道交通建设热潮。一般而言,轨

^{*} 收稿日期:2013-10-11

^{**} 作者简介:谢俊,1983 年出生,男,工程师。

道路交通线路在闹市区均以地下敷设方式通过,受周围条件限制及环保的相关要求,同时兼顾盾构法的可靠性,地下区间隧道往往优先采用盾构法施工。

随着盾构法的广泛采用,盾构法在施做隧道过程中也遇到了诸如近接施工、重叠隧道、施工环境影响等一系列问题^[3-7],但关于隧道结构漂移还是较为鲜见的,以下以某地铁区间盾构隧道为例,介绍盾构隧道在贯通后产生的漂移及其处理措施以供后续相关工程参考。

2 工程概况

某地铁区间线路主体位于既有道路路中,道路路面宽度 80 m,地面标高为 1 928.6 ~ 1 967.8 m,区间线路两侧大部为农田和规划用地。

2.1 隧道平纵断面

区间隧道右线长 2 107 m,线路总体呈东北~西南走向,线路出小里程端(图 1 中左端)车站后即以 350 m 半径曲线转至西南方向,随后直行至大里程端(图 1 中右端)车站,具体如图 1 所示。

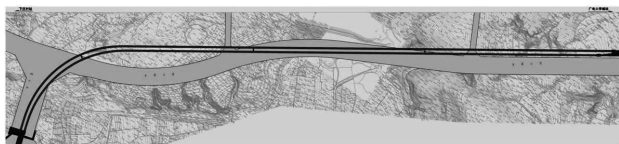


图 1 隧道平面图

线路出小里程端车站后,以 10.00‰和 3.56‰两坡度分别下坡 330 m、650 m 至区间最低点,然后以 17.98‰的坡度上坡 1 010 m 至大里程端车站。区间整体呈“V”型坡布置。线路竖曲线半径在车站端头为 3 000 m,其余均为 5 000 m。区间最大坡度 17.98‰,最小坡度 3.56‰,区间隧道覆土厚度 11.12 ~ 51.42 m,具体如图 2 所示。

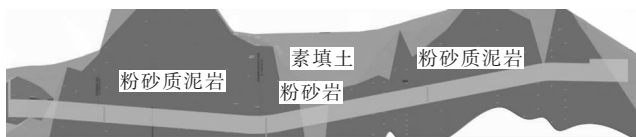


图 2 隧道纵断面图

2.2 工程地质

拟建隧道所处地貌单元为冲湖积倾斜平原盆地边缘的剥蚀残丘,地表植被较发育,区间沿线地形起伏较大,相对高差 33.05 m,区间范围内主要地质为素填土、粉质黏土、全风化~中风化砂岩、全风化~中风化粉砂岩;区间隧道主要穿越粉质黏土层、弱风化~强风化粉砂岩、弱风化~强风化粉砂质泥岩,隧道主体结构

绝大部分位于粉砂质泥岩和粉砂岩中。

2.3 水文地质

勘察场地范围内,无地表河道或涌沟通过,在里程 DK 40 + 489.69 ~ DK 40 + 797.30 处距线路约 50 m 为某水库。勘察区间内,隧道上覆多为隔水层,仅局部存在粉砂层,对暗挖施工影响较大的主要是赋存于各风化裂隙中的基岩裂隙水,水量较小,地下水对工程的不利影响以岩石软化、崩解为主,局部上覆隔水层薄或裂隙很发育且连通性较好地段,仍存在突涌的可能。

3 位移监测数据及其分析

区间贯通后承包商及业主委托的第三方监测单位对隧道进行了较为系统的测量,通过对几次测量数据的分析发现隧道结构轴线并未稳定,在水平向及垂直向均出现了不同程度的位移情况,2011 年 04 月(隧道贯通测量,后称第一次测量)、2011 年 12 月(交付铺轨测量,后称第二次测量)、2012 年 04 月(后称第三次测量)共计进行了三次测量。

3.1 第一次测量数据(隧道贯通测量)

隧道贯通后,进行了第一次测量,发现施做完成的隧道轴线与设计轴线存在一定偏差,区间隧道轴线偏差大部分在规范要求的 10 cm 以内^[8],轴线偏差总体情况可控,局部超出了规范要求,水平偏移极值分别为 6.7 cm、-10.4 cm(正值表沿大里程方向向右,负值表向左,下同),垂直轴线偏移极值分别为 10.1 cm、-15.3 cm(正值表上浮,负值表下沉,下同),具体情况如图 3 所示。

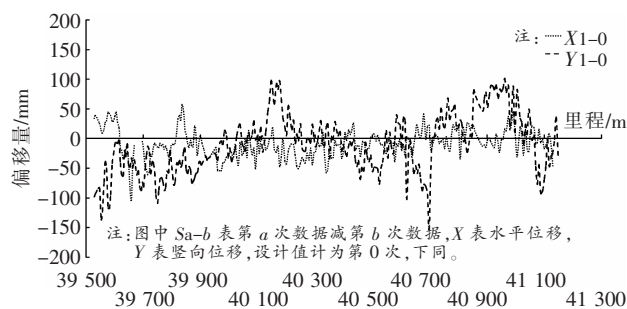


图 3 区间隧道右线轴线偏移曲线(第一次与设计差值)

3.2 第二次测量数据(交付铺轨测量)

第二次测量时间为隧道准备交付铺轨单位实施铺轨作业时,测量发现此次隧道轴线较第一次测量又出现了不同程度的变化,隧道轴线水平偏移极值分别为 19.1 cm、-11.1 cm,垂直轴线偏移极值分别为 18.5 cm、-5.2 cm,隧道结构未稳定,轴线出现较为显著的漂移,具体情况如图 4 所示。

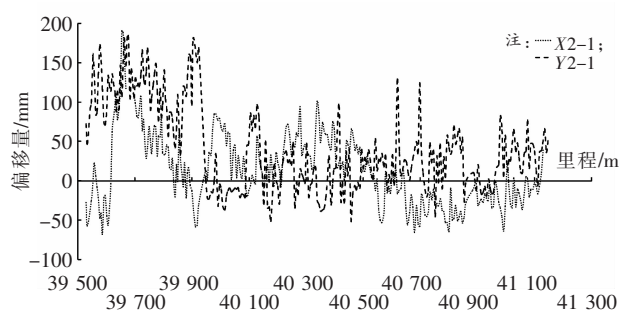


图4 区间隧道右线轴线偏移曲线(第二、一次差值)

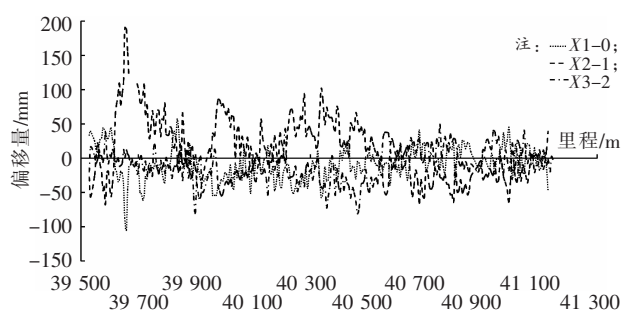


图6 区间隧道右线水平偏移曲线

3.3 第三次测量数据(比较测量)

发现区间隧道未稳定后,业主组织参建相关方在2012年04月对隧道结构轴线进行了第三次系统测量,发现隧道结构较第二次测量又出现不同程度的偏移,隧道轴线水平偏移极值分别为4.9 cm, -8.1 cm,垂直轴线偏移极值分别为7.9 cm、-10.9 cm,隧道结构轴线漂移显著,具体情况如图5所示。

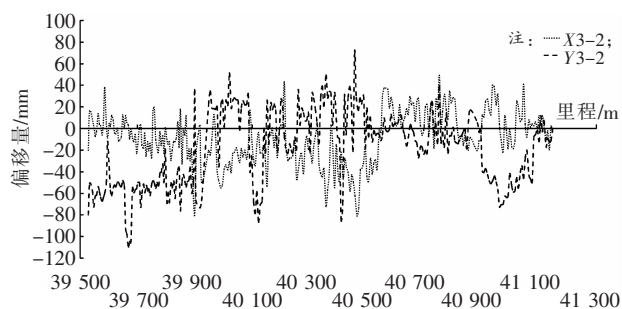


图5 区间隧道右线轴线偏移曲线(第三、二次差值)

3.4 数据分析

区间右线隧道整个漂移段共计布设360个测量断面。图6给出了区间右线隧道轴线几次测量的水平偏移情况,X1-0表示第一次测量数据与设计轴线偏差,最小值为-10.4 cm,对应里程DK 39+358,最大值为6.7 cm,对应里程DK 41+430,水平偏差超限断面共计1个。X2-1最大值为19.1 cm,最小值-11.1 cm,X3-2最大值为4.9 cm,最小值-8.1 cm。针对整个漂移段而言,区间隧道的水平漂移表现为一定的随机性,无显著倾向性规律。

图7给出了区间右线隧道轴线几次测量的垂直偏移情况,Y1-0表示第一次测量数据与设计轴线偏差,最大值为10.1 cm,对应里程DK 40+962,最小值为-15.3 cm,对应里程DK 40+698,水平偏差超限断面共计8个。Y2-1最大值为18.5 cm,最小值-5.2 cm,Y3-2最大值为7.9 cm,最小值-10.9 cm。第二次测量数据和第一次测量数据对比,隧道漂移段呈现整体

上浮,其中DK 39+500~DK 39+900里程段上浮明显。

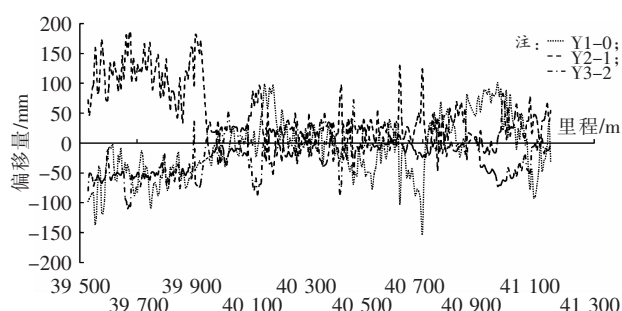


图7 区间隧道右线垂直偏移曲线

4 区间隧道漂移原因分析

通过上述几次测量数据的分析发现区间隧道未稳定,管片偏移主要表现为管片结构整体位移,管片块及管片环之间的错台无显著加大,隧道内部渗漏水现象无显著加剧,据此业主单位组织设计、施工、监理等各参建单位进行会商,同时组织专家进行了咨询。承包商打开管片结构上注浆预埋件发现壁后存在大量的地下水,水量丰富,腰部预埋件打开后,地下水直接喷射至另一侧腰,如图8所示。据此推测管片壁后注浆填充不密实或填充注浆出现流失,为准确确定漂移段边界同时确认壁后注浆填充情况,决定采用地质雷达进行检测。



图8 管片开孔地下水喷出图

4.1 盾尾间隙地质雷达检测结果

地质雷达法是一种用于确定地下介质分布的电磁波法,目前在隧道工程衬砌质量检测、超前地质预报、路面脱空缺陷检测等领域得到了较为广泛的应用^[9-11]。其原理类似反射地震勘探技术,利用目标体与周围介质之间存在介电常数差异为基础来进行探测,是一种高分辨率勘探方法,通过发射天线以脉冲发射高频电磁波(1 MHz~1 GHz),波在介质中传播,当遇到存在介电常数差别的界面时,便发生反射,返回后由天线接收,并由采集系统(主机)以数字形式记录下来。

根据所探测资料,综合现场地质条件和采集条件,在所探测的管片测线中发现 24 处不密实,多分布在管片外与围岩接触部位,10 处局部脱空且有积水,多分布在管片内径与道床接触部位。

4.2 漂移原因及其分析

推进该区间的盾构刀盘开挖直径 6.48 m,管片衬砌结构外径 6.2 m,盾构掘进过程中,刀盘开挖面大于衬砌横断面,其间存在 0.28 m 的间隙。同时考虑到隧道赋存于粉砂岩、粉砂质泥岩中,岩层具备一定的自稳能力,开挖后收敛值显著小于盾尾间隙值,加上管片壁后注浆填充不密实或填充注浆出现流失,地下水会充填至开挖面内壁和管片结构外壁之间,隧道结构在上述边界约束条件下,纵向刚度不足以抵抗隧道结构内部的施工荷载或其他随机作用的影响,致使隧道结构出现不可避免的漂移现象。

5 漂移处理措施及效果

针对引起隧道漂移的上述原因,考虑采用壁后二次注浆的方式对开挖面内壁和管片结构外壁间的间隙予以充填处理。

5.1 壁后注浆设计

考虑到地下水丰富,采用单液浆存在浆液流失的风险,参考双液浆在地下水丰富地区的成功应用实例,对间隙的填充考虑采用水泥-水玻璃双液浆^[12]。为减小管片外围地下水的水力联系,将隧道纵向隔离成不同的注浆分区,一个分区含 60 环管片,对该区 50 环两侧的 5 环压入水泥-水玻璃双液浆快速隔水,阻止地下水沿隧道纵向的流动。水泥浆水灰比 $W:C=0.6\sim 1$,水玻璃浓度 $35^\circ\text{Be}'$,水泥浆与水玻璃溶液的比值 $S:C=0.4\sim 0.6$,初凝时间 2 min 左右。

为了尽可能减小地下水的影响,注浆过程中打开部分注浆孔,确保地下水在注浆过程中能顺利从上述孔洞泄出,结合施工方便泄水孔和注浆孔设在管片侧面,注浆分区内每 10 环内作为一个小的注浆单元,第

1 环和第 10 环管片侧面设注浆孔,第 5 环侧面设泄水孔。注浆完成后,在同时满足三个条件(开启各注浆孔、泄水孔均确保不漏水;注浆压力达到 0.3 MPa 时注浆速度小于 5 L/min;地质雷达探测验证没有空洞)后二次注浆已达到设计填充要求,方可进行下一分区的注浆。

5.2 注浆施工期间的监测

为防止在施工过程中造成隧道轴线偏移过大引起隧道偏差超限及可能的道床、管片结构破坏,在注浆施工过程中动态监测管片姿态变化,用以调整施工参数。

监测对象主要包括管片结构、已铺道床。仪器监测和人工巡视同时进行,对于人工巡视主要观察管片有无掉角、破碎;有无渗漏水现象;道床砟有无开裂等。对于仪器监测主要监测施工区管片的水平和垂直位移;已铺道床的水平和垂直位移。在每个注浆单元泄水管片位置均布设监测断面。在施工过程中,每 2 h 监测一次,施工结束后每天测一次,直至变化稳定。变化速率达到 3 mm/2 h,或者累计变化量达到 10 mm 进行报警,达到报警值的 85% 进行预警。现场巡视发现有管片破损、隧道渗漏水、道床发生裂纹时,直接报警。出现预警、报警时及时停止施工,分析原因,及时采取加固措施,消除隐患优化施工参数后再进行施工。

5.3 漂移处理效果

2012 年 08 月承包商完成了壁后二次注浆作业,施工期间的监测数据表明,采取上述措施和优化施工参数后注浆引起的既有隧道轴线位移有限。注浆完成后,2012 年 08 月 10 日、2012 年 09 月 28 日承包商分别进行了两次较为系统的监测,水平及垂直位移最大偏移值分别为 3.4 mm, -2.8 mm,结果表明经过二次注浆处理后隧道轴线稳定,截至目前,整个区间轨道铺设工作已经完成,正进行地铁列车试运行作业,运营期进一步进行相应的监测工作,实时掌握隧道结构位移数据,确保列车运营安全。

6 结论

通过对上述某地铁区间盾构隧道漂移的原因分析及修复处理,有以下几点建议供后续工程参考:

(1) 盾构施工过程中,同步注浆及二次注浆作业尤为重要,必须严格执行,同时确保注浆质量,避免类似事件的再次发生;

(2) 盾构隧道赋存于地下水丰富的地层中时,同步注浆及二次注浆建议优先采用双液浆,浆液配合比由承包商现场试验,报送各参建单位确认备案;

(3) 提倡盾构隧道施工过程中及时对盾尾注浆及

(下转第 120 页 To P. 120)